8th.International Congress on Civil Engineering , Architec
and Urban Development / 20-22 September 2022,Tehran , Iran
In cooperation with Shiraz University, maraghe University
And University of Science and Technology of Iran

جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
شماره مجوز کنگره از وزارت علوم: ۷۲۶۴۰۳۸

مرور سیستماتیک تأثیر BIM بر ضایعات ناشی از ساخت ساختمان‌های بلندمرتبه

پانیذ پوریعقوبی[۱]، هاشم شریعتمدار*[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه فردوسی مشهد، paniz.pooryaghoobi@yahoo.com
۲- استاد گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، shariatmadar@um.ac.ir

چکیده

بلندمرتبه‌سازی از اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم میلادی در جهان آغاز گردید. در دهه‌های اخیر به علت افزایش رشد جمعیت، افزایش شهرنشینی و همچنین کمبود زمین‌های مناسب جهت ساخت‌وساز، ساخت ساختمان‌های بلندمرتبه رواج یافته است؛ اما این بلندمرتبه‌سازی نیازمند مصرف مقدار قابل‌توجهی مواد، مصالح و انرژی بوده که سبب افزایش ضایعات ساختمانی و درنهایت آسیب به محیط‌زیست شده است. ضایعات ساختمانی تأثیرات منفی متعددی بر برنامه زمانی، مالی، نیروی انسانی، کیفیت و بهره‌وری پروژه‌ها دارند. با توجه به مطالعات پیشین، ثابت‌شده است که فناوری‌های هوشمند راه‌حل‌های کارآمد و حیاتی برای مشکلات ناشی از ضایعات ساخت‌وساز می‌باشند. ازاین‌رو، برای کاهش آسیب‌های مخرب ناشی از ضایعات بلندمرتبه‌سازی، می‌توان از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان که در این پژوهش به آن اشاره‌شده است، استفاده نمود. بهره‌گیری از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان سبب جلوگیری از دوباره‌کاری، هدر رفت مصالح و انرژی می‌شود و درنتیجه به کمک آن می‌توان برنامه مناسبی برای پروژه‌ها تهیه نمود و آثار منفی و مخرب ذکرشده را به حداقل کاهش داد. این پژوهش با بهره‌گیری از مطالعه سیستماتیک، به بررسی سوابق پژوهش‌ها و مقالات علمی-پژوهشی می‌پردازد. از اهداف این مقاله می‌توان به شناسایی آخرین پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه تأثیر مدل‌سازی اطلاعات ساختمان بر ضایعات ساختمانی، شناسایی موانع و خلأهای موجود در این زمینه و ارائه چهارچوبی برای پژوهش‌های آینده اشاره نمود. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که مطالعات پیشین عمدتاً بر ارزیابی کلی محیط‌زیست ساختمان متمرکز بوده است. بااین‌حال، کمی سازی ضایعات ساختمانی به علت پیچیدگی و تفاوت پروژه‌ها نیاز است تا به‌صورت یکپارچه موردبررسی قرار گیرد. از طرفی مشخص شد که در بررسی ضایعات ساختمانی با رویکرد سیستم‌های پویا، مطالعات اندکی صورت گرفته است. همچنین تأثیر مدل‌سازی اطلاعات ساختمان بر ضایعات ناشی از ساخت ساختمان‌های بلندمرتبه به‌طور خاص، مورد ارزیابی قرار نگرفته است.

واژه‌های کلیدی: بلندمرتبه‌سازی، ضایعات ساختمانی، مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، مطالعه سیستماتیک.

۱- مقدمه

صنعت ساخت‌وساز یکی از مهم‌ترین و اصلی‌ترین بخش‌های اقتصادی کشورهای درحال‌توسعه، صنایع مصرف‌کننده منابع و تولیدکننده ضایعات در جهان است[۱]. نوسازی‌های شهری در جهان، محیط زندگی را بهبود بخشیده است، فرصت‌های شغلی گسترده‌ای را ایجاد کرده و منجر به رونق اقتصادی گردیده است. امروزه با توجه به پیشرفت فناوری و رشد جمعیت، نرخ ساخت‌وساز در دنیا افزایش‌یافته است؛ از طرفی ساخت و یا تخریب ساختمان‌های جدید و قدیمی به علت ساخت ساختمان‌های بلندمرتبه‌تر و فعالیت‌هایی از این قبیل، ضایعاتی را به دنبال خواهد داشت[۲]. ضایعات ناشی از ساخت‌وساز تأثیرات منفی بر هزینه و زمان پروژه، عملکرد نیروی انسانی، محیط‌زیست، کیفیت و بهره‌وری پروژه‌ها دارند. زباله‌ها و ضایعات شامل انواع مصالحی می‌شوند که درنتیجه فعالیت‌های تولیدی، طراحی و ساخت ایجاد می‌گردند و به‌صورت مستقیم و یا غیرمستقیم

می‌توانند سبب آسیب‌رسانی به سلامت انسان و یا محیط‌زیست گردند. ضایعات به‌عنوان فعالیت‌های بدون ارزش‌افزوده تعریف می‌شوند که منابع و هزینه را جذب می‌کنند اما ارزش اضافی برای پروژه ایجاد نمی‌کنند و سبب آلودگی هوا، آب و خاک شده و درنتیجه می‌توانند بر توپوگرافی زمین تأثیر منفی بگذارند. از منابع اصلی تولید ضایعات ساختمانی می‌توان به دوباره‌کاری‌ها، تعمیرات، ضایعات مصالح، تخصیص ضعیف و نادرست مصالح، تأخیرات و جابجایی مصالح غیرضروری اشاره نمود. با توجه به آثار مخرب ذکرشده ضایعات، مدیریت مؤثر آن‌ها به‌منظور به حداقل رساندن اثرات ناشی از آن‌ها بر محیط‌زیست، اقتصاد و سایر بخش‌های مربوط به پروژه‌های ساخت‌وساز، یکی از مهم‌ترین مسائل قرن بیست و یکم است[۳]. تحقیقات نشان می‌دهد که مقدار ضایعات تولیدی در پروژه‌ها برابر با ۱۰ تا ۱۵ درصد کل مصالحی است که در عملیات ساختمانی به کار می‌رود. با توجه به تنوع قابل‌توجه در بین انواع کارگاه‌های عمرانی، امکان کاهش مقدار این ضایعات و استفاده مجدد از ضایعات در پروژه‌های دیگر وجود دارد[۴]. با اجتناب از تولید ضایعات ساختمانی و یا کاهش آن، می‌توان هزینه‌های مراحل بعدی نظیر دفن ضایعات، بازیافت آن‌ها و استفاده مجدد از آن‌ها را کاهش داد[۵]. مطالعات و تحقیقات بسیاری در زمینه کمی سازی ضایعات و زباله‌ها و منبع آن‌ها، مدیریت ضایعات، برنامه‌ریزی و پویایی فرآیند ساخت‌وساز منتشرشده است[۶]. بااین‌حال، همچنان نیز محدودیت‌های بسیاری ازجمله جابجایی ناکارآمد مصالح، تدارکات و برنامه‌ریزی نامناسب، کیفیت پایین طراحی، تغییرات غیرمنتظره و نادیده گرفتن تکنیک‌های ساخت‌وساز مجازی در این زمینه وجود دارد[۷, ۸].

در اجرای یک پروژه ساختمانی چندمنظوره مانند ساختمان بلندمرتبه، عدم حذف یا مدیریت صحیح عوامل خطر می‌تواند به‌طور مهلکی بر موفقیت پروژه تأثیرگذار باشد. به‌ویژه، نقص در مرحله طراحی می‌تواند سبب بروز هزینه‌های اضافی در پروژه گردد. مهم‌تر از همه، با توجه به اینکه طراحی و مهندسی یک پروژه ساختمانی بلندمرتبه شامل ذینفعانی در زمینه‌های تخصصی مختلفی مانند معماری، سازه و ساخت، مکانیکی، الکتریکی و لوله‌کشی است، اغلب خطاها در مرحله طراحی شناسایی نشده باقی می‌مانند و سپس در مرحله ساخت‌وساز شناسایی و اصلاح می‌شوند؛ بنابراین ضروری است که خطاهای طراحی در مراحل پیش از ساخت مدیریت شوند[۹]. در مراحل اولیه طراحی، با استفاده از برنامه‌ریزی صحیح و هماهنگ کردن جنبه‌های مختلف طراحی می‌توان سبب کاهش ضایعات ساختمانی گردید. از طرفی می‌توان با بررسی‌های دقیق و همه‌جانبه و سفارش مواد و مصالح بر اساس اسناد طراحی تهیه‌شده، از سفارش بیش‌ازحد و تولید ضایعات جلوگیری نمود. همچنین می‌توان با بهره‌گیری از روش‌های مدرن ساخت‌وساز مانند پیش‌ساخته سازی، ساخت مدولار و سفارش مصالح از قبل برش خورده، به‌طور قابل‌توجهی سبب کاهش ضایعات و کاهش زمان لازم برای فعالیت‌های ساختمانی شد[۱۰].

ابزارهای محدودی برای برآورد میزان ضایعات ساختمانی وجود دارند، اما این ابزارها و روش‌های موجود به میزان موردنیاز برای استفاده پیمانکاران راحت نمی‌باشد؛ زیرا استفاده از آن‌ها نیازمند صرف زمان و تلاش زیادی می‌باشد؛ بنابراین، برای مدیریت کارآمدتر، تخمین و به حداقل رساندن ضایعات، بهینه‌سازی زمان‌بندی، توسعه سیستم مدیریت یکپارچه ضایعات و ارزیابی ریسک نیاز به اتخاذ راهکارهایی است که می‌توان از فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات[۱] مانند فناوری‌های فضایی، فناوری‌های شناسایی، جمع‌آوری داده‌ها و فناوری‌های ارتباطات داده، در این راستا بهره‌مند شد[۱۱].

مدل‌سازی اطلاعات ساختمان[۲] که در اوایل دهه ۲۰۰۰ معرفی و به کار گرفته شد، با مدل‌سازی روابط میان عناصر ساختاری در یک طرح واحد با ارزیابی‌های زمان و هزینه، فراتر از یک پیش‌نویس ساده است. BIM به‌عنوان یک کاتالیزور برای تغییر، با هدف کاهش پراکندگی در صنعت، بهبود کارایی، ارتقا کیفیت طراحی، تخمین میزان ضایعات تولیدشده، توسعه برنامه‌های مدیریت ضایعات ساختمانی، انتخاب کارآمدترین مکان‌های دفع ضایعات، مدیریت سایت و کاهش هزینه‌های بالای ناشی از همکاری‌های نامناسب به نمایش گذاشته‌شده است. در حقیقت BIM داده‌های پروژه را به نحوی هوشمند می‌کند که همه ذینفعان بتوانند آن‌ها را به‌درستی تفسیر کنند تا تفسیرها و فرضیات نابجا به حداقل برسد. همچنین تمام اطلاعات مربوط به یک پروژه ساختمانی در یک مدل یا مخزن داده ارائه شود تا توسط همه ذینفعان در طول چرخه عمر ساختمان مورداستفاده

[۱] Information and communication technology (ICT)
[۲] Building Information Modeling (BIM)

قرار گیرد و منجر به یک روش کار یکپارچه گردد[۱۲]. مدل BIM عناصر ساختمان شامل دیوارها، سقف‌ها، درب‌ها، پنجره‌ها و راه‌پله‌ها را به همراه مشخصات آن شامل عملکرد، سازه و موارد دیگر مشخص می‌کند. ازآنجاکه داده‌ها در این سیستم پارامتریک و ارتباط بین عناصر ساختمان مشخص است، کوچک‌ترین تغییر در عناصر ساختمان به‌سرعت در سرتاسر مدل اعمال می‌گردد.

با توجه به آثار مخرب ناشی از ضایعات، مدیریت مؤثر ضایعات و به حداقل رساندن اثرات مخرب آن‌ها بر محیط‌زیست و اقتصاد از مهم‌ترین مسائل قرن حاضر است. کاهش میزان ضایعات ساختمانی و نخاله‌ها یکی از اصلی‌ترین راهکارهای جلوگیری از آلودگی‌های محیط‌زیستی و کاهش هزینه‌های ساختمان‌سازی است. لذا ضروری است تا در جهت کاهش ضایعات و نخاله‌های ساختمانی برنامه‌ریزی‌های مدونی صورت گیرد. همان‌طور که ذکر گردید، از اواخر قرن بیستم افزایش جمعیت بی‌سابقه‌ای اتفاق افتاد. به‌طوری‌که در حدود نیم‌قرن اخیر، جمعیت جهان بیش از ۲ برابر شده است؛ ازاین‌رو، ساخت‌وساز ساختمان‌های بلندمرتبه به‌عنوان راه‌حلی مؤثر ارائه گردید. ساختمان‌های بلندمرتبه تعاریف مختلفی دارند؛ به‌عنوان‌مثال، از دیدگاه مهندسان ساختمان، بنایی که ارتفاع آن باعث شود نیروهای جانبی ناشی از زلزله و باد بر طراحی آن تأثیر قابل‌توجهی بگذارند و بیش از ۱۰ طبقه باشد، بلندمرتبه نامیده می‌شود. در انگلستان به ساختمانی که از متوسط تعداد طبقات منطقه هم‌جوار بلندتر باشد، بلندمرتبه اطلاق می‌گردد. احداث ساختمان‌ها و بناهای بلندمرتبه ابتدا در کشورهای توسعه‌یافته و پس از گذشت چندین دهه در کشورهای درحال‌توسعه متداول گردید. طبق مطالعات صورت گرفته، ساختمان‌های بلندمرتبه از سیستم‌های ساختمانی پیچیده و وظایف متعدد ساخت‌وساز تشکیل‌شده است. ساخت ساختمان‌های بلندمرتبه نیازمند مصرف مصالح و انرژی بیشتر به علت ساخت در ارتفاع می‌باشد که این امر، خود سبب افزایش ضایعات تولیدی در این نوع ساخت‌وساز می‌گردد[۱]. بلندمرتبه‌سازی از یک‌سو می‌تواند به بسیاری از مسائل شهری مانند کمبود زمین و مسکن پاسخ دهد، اما از سو دیگر مشکلات و معایبی برای محیط‌زیست و جامعه ایجاد می‌کند. با توجه به رشد جمعیت و نیاز به ساخت‌وساز بلندمرتبه و اهمیت محیط‌زیست نیاز است تا آثار مخرب این نوع ساخت‌وساز موردبررسی قرارگرفته و به حداقل کاهش یابد.

کاربردهای BIM که تأثیرات مثبتی بر مدیریت و به حداقل رساندن ضایعات ساختمانی دارند، عبارت‌اند از: (۱) بررسی طراحی، (۲) هماهنگی سه‌بعدی، (۳) برخاستن کمیت، (۴) برنامه‌ریزی فاز، (۵) برنامه‌ریزی استفاده از سایت، (۶) پیش‌ساخته دیجیتال، (۷) کنترل و برنامه‌ریزی سه‌بعدی و (۸) طراحی سیستم ساخت‌وساز[۱۳]. با در دسترس بودن BIM و افزایش متخصصان صنعت که با BIM آشنایی دارند، هزینه ایجاد مدل‌های BIM کاهش‌یافته است و بیشتر مورداستفاده قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که نرخ پذیرش BIM در کشورهای توسعه‌یافته سریع‌تر از کشورهای درحال‌توسعه است. در سال‌های اخیر با افزایش استفاده از BIM، استفاده از آن به‌عنوان روشی سودمند و دقیق در طراحی و ساخت‌وساز و ابزاری برای کاهش خطاهای ناشی از طراحی، تغییرات پیش‌بینی‌نشده و دوباره‌کاری، سبب کاهش ضایعات گردیده است. اگرچه تحقیقات زیادی در زمینه تأثیرات BIM بر ضایعات ساختمانی انجام‌شده است، ولی همچنان نیز برخی از مسائل اصلی نیاز به بررسی بیشتر دارند؛ ازجمله فقدان ابزار مناسب برای تصمیم‌گیری در مورد ابعاد مختلف BIM و همچنین نیاز به ارزیابی کمی از قابلیت‌های BIM در کاهش هزینه‌های مربوط به ضایعات ساختمانی است که به افراد کمک می‌کند تا هزینه‌های واقعی و منافع ناشی از این ترکیب را اندازه‌گیری و برآورد کنند. با توجه به آنچه ذکر شد و اهمیت کاهش ضایعات ساختمانی ازنظر محیط‌زیستی، اقتصادی و زمانی در پروژه‌ها، در مقاله حاضر به بررسی سوابق پژوهشی در زمینه تأثیر BIM در کاهش ضایعات ساختمانی ناشی از ساخت ساختمان‌های بلندمرتبه پرداخته‌شده است. این مقاله در ۴ بخش تدوین‌شده است. در بخش دوم، روش انجام پژوهش شرح داده‌شده است. در بخش سوم، نتایجی که از بررسی سوابق پژوهش‌های پیشین به‌دست‌آمده مورد تحلیل و بررسی قرارگرفته است و در بخش چهارم، نتیجه‌گیری جامع و نهایی پژوهش بر اساس تحلیل‌های صورت گرفته و پیشنهادهای مربوطه ارائه گردیده است.

۲- روش انجام پژوهش

در این مقاله به بررسی سوابق پژوهشی تأثیر BIM بر ضایعات ناشی از ساخت ساختمان‌های بلندمرتبه پرداخته می‌شود. مطالعات متعددی توسط مجلات معتبر بین‌المللی مرتبط با ضایعات ساخت‌وساز و BIM در دهه‌های گذشته منتشرشده است. ازاین‌رو، در گام نخست به بررسی سیستماتیک پژوهش و تحقیقات معتبر و مرتبط پیشین در پایگاه‌های Google scholar، Springerlink و Since direct پرداخته می‌شود. درواقع مرور سیستماتیک نوعی رویکرد پژوهشی علمی است که در موضوع خاص، روش‌های معینی را برای جست‌وجو و ارزیابی تحقیقات و پژوهش‌های انجام‌شده، حداقل کردن سوگیری و خطاهای موجود به کار می‌برد تا شواهد معتبر و کاربردی را پیداکرده و آن‌ها را با استفاده از ابزارهای مناسب باهم ترکیب نماید. در ادامه در پایگاه‌های ذکرشده عبارات BIM، Waste، Building Information Modeling، High-rise buildings، Construction waste، Construction waste management، Construction and demolition waste، C&D در بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ در عنوان، چکیده و کلمات کلیدی مقالات جست‌وجو می‌شود. سپس از میان مقالات به‌دست‌آمده، مقالات معتبر و چاپ‌شده در برترین ژورنال‌ها که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به Journal of Building and Environment، Building Engineering، Automation in construction، Waste management، Construction management and economics، Renewable and Sustainable Energy Reviews، Journal of cleaner production، Resources, conservation and recycling اشاره نمود، تفکیک می‌گردند و موردبررسی قرار می‌گیرند. سپس چکیده و در صورت نیاز، نتایج مقالات تفکیک‌شده در حیطه موضوعات BIM و ابعاد و کاربردهای مختلف آن در ساخت‌وساز، ارتباط و تأثیر BIM بر کاهش ضایعات ساختمانی، ضایعات ناشی از ساخت‌وساز ساختمان‌های بلندمرتبه و راهکارهای ارائه‌شده برای کاهش ضایعات ساختمان‌های بلندمرتبه با بهره‌گیری از BIM موردمطالعه قرار می‌گیرند و سایر مقالات غیر مرتبط حذف می‌گردند. در نهایت، مقالات مرتبط در دسته‌های ذکرشده تفکیک می‌شوند و موردبررسی جامع‌تری قرار می‌گیرند.

۳- نتایج و بحث

امروزه تغییرات موردنیاز در پروژه‌های ساختمانی منجر به دوباره‌کاری، افزایش هدررفت هزینه‌ها، زمان و نیروی انسانی می‌گردند. با توجه به افزایش جمعیت و درنتیجه آن افزایش ساخت‌وساز، روش‌های ساخت‌وساز قدیمی پاسخگوی این تقاضا رو به رشد نبودند. با پیدایش فناوری BIM و رونق پرسرعت آن، نرخ اتلاف زمان و منابع و به‌طورکلی هدررفت‌ها به‌شدت کاهش یافت[۱۴]. امروزه فناوری‌های اطلاعات مانند BIM، به‌طور فزاینده‌ای در سراسر جهان برای ارتقای کارایی مدیریت ضایعات ساخت‌وساز و تخریب و کاهش اثرات محیط‌زیستی و اجتماعی دفع ضایعات مورد استفاده می‌باشند[۱۵].

ضایعات ساختمانی درصد بالایی از زباله‌های جامد تولیدشده در جهان را شامل می‌شوند که در حال تبدیل‌شدن به یکی از موضوعات کلیدی محیط‌زیستی در صنعت ساخت‌وساز می‌باشند. کاهش نرخ ضایعات ساختمانی یکی از مهم‌ترین مسائلی است که مطالعات زیادی را به خود اختصاص داده است. بر طبق مطالعات صورت گرفته عواملی چون تعداد طبقات ساختمان، مساحت پروژه و سیستم ساخت‌وساز از مهم‌ترین عوامل مؤثر در میزان تولید ضایعات می‌باشند. ازاین‌رو، بررسی میزان ضایعات ناشی از ساختمان‌های بلندمرتبه که طبقات و مساحت زیادی را به خود اختصاص می‌دهند، تأثیر به سزایی در یافتن راهکاری برای کاهش ضایعات ساختمانی دارد[۱۶]. ازاین‌رو، به‌منظور دید کلی و همه‌جانبه، سوابق پژوهشی در حوزه‌های مذکور در دسته‌بندی‌های زیر مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

۳-۱- عنوان‌های پژوهشی

عنوان موردبحث در میان رشته‌های مدیریت پروژه و ساخت، مهندسی عمران و محیط‌زیست موردبررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد. بررسی این عناوین در پژوهش‌های پیشین، سبب جلوگیری از دوباره‌کاری در پژوهش شده و به درک بهتر و جامع‌تر و همچنین چالش‌های فراروی موضوع مذکور منجر می‌گردد. از طرفی ارزیابی سوابق این موضوع خلأها، نیازها و استراتژی‌های آتی پژوهشی را نیز فراهم خواهد نمود. از عمده‌ترین عنوان‌های پژوهشی در این زمینه می‌توان به تأثیرات BIM بر کاهش

ضایعات، ضایعات ناشی از ساختمان‌های بلندمرتبه، تأثیر استفاده از BIM در ساختمان‌های بلندمرتبه، تأثیرات BIM بر هزینه‌های ناشی از تولید و بازیافت ضایعات، بررسی تأثیرات محیط‌زیستی ناشی از به‌کارگیری BIM در بررسی ضایعات ساختمانی، بهینه‌سازی ضایعات ساختمانی با بهره‌گیری از BIM، تحلیل و بررسی معیارهای مختلف ضایعات ساختمانی در پروژه‌های مجهز به BIM و مدیریت ضایعات ساختمان‌ها با بهره‌گیری از BIM اشاره نمود.

۲-۳- دسته‌بندی پژوهش‌های صورت گرفته در حوزه ضایعات مبتنی بر BIM

صنعت ساخت‌وساز ضایعات ساختمانی زیادی تولید کرده است که اثرات قابل‌توجهی بر محیط‌زیست و جامعه دارد. به‌طورکلی پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه به چندین دسته اصلی تفکیک می‌گردند که عبارت‌اند از: ضایعات ساختمانی، ارزیابی ضایعات ساختمانی با بهره‌گیری از BIM، تأثیر BIM بر ضایعات ساختمانی (ازجمله کاهش ضایعات)، تأثیرات محیط‌زیستی ضایعات ساختمانی پروژه‌های مجهز به BIM.

- **ضایعات ساختمانی**

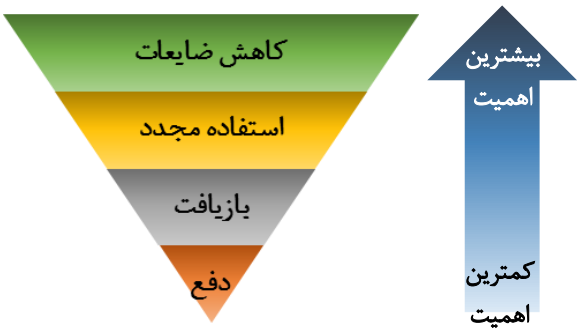
صنعت ساخت‌وساز در تولید ضایعات جامد نقش به سزایی دارد. پوون و همکاران [۸] در سال ۲۰۰۹ ضایعات ساختمانی را بر اساس انواعشان در دودسته کلی مواد خنثی[۱]نرم و سخت و ضایعات غیر خنثی[۲]تقسیم‌بندی کردند. مواد خنثی به‌عنوان ضایعاتی طبقه‌بندی می‌شوند که تحت تغییرات فیزیکی، شیمیایی یا بیولوژیکی قابل‌توجهی قرار نمی‌گیرند و معمولاً بر سایر موادی که با آن‌ها در تماس هستند تأثیر منفی نمی‌گذارند. ضایعات غیر خنثی نیز به ضایعاتی اطلاق می‌گردد که می‌توانند تحت تأثیر تغییرات فیزیکی، شیمیایی و یا بیولوژیکی قرار گیرند. بر طبق نتایج به‌دست‌آمده، مواد خنثی نرم (مانند خاک و دوغاب) حدود ۷۰ درصد از کل ضایعات ساختمانی را تشکیل می‌دهند و می‌توانند به‌عنوان مواد پرکننده، مورداستفاده مجدد قرار گیرند. مواد سخت (مانند سنگ‌ها و بتن شکسته) حدود ۱۲ تا ۱۵ درصد از کل ضایعات ساختمانی را تشکیل می‌دهند و می‌توانند در بازسازی‌ها مورداستفاده قرار گیرند و ضایعات غیر خنثی (مانند ضایعات فلزی و چوب) حدود ۱۵ تا ۱۸ درصد از کل ضایعات ساختمانی را تشکیل می‌دهند که می‌توان آن‌ها را بازیافت و یا در محل‌های مناسب دفن کرد. بر طبق مطالعات صورت گرفته توسط شی و سو [۱۷] در سال ۲۰۲۱ ضایعات را بر اساس تأثیراتشان می‌توان به سه دسته تقسیم کرد که عبارت‌اند از: ضایعات با اثرات اقتصادی و محیط‌زیستی بالا (بتن، آجر، فلز و فولاد مسلح)، ضایعات با اثرات متوسط (سنگ، شیشه و سیمان) و ضایعات با اثرات پایین (چوب و پلاستیک). دسته اول، مواد خام باارزشی را برای تولید محصولات مشابه فراهم کرده و بیشترین پتانسیل بازیافت و استفاده مجدد را دارا می‌باشند. دسته دوم، پتانسیل استفاده مجدد زیادی داشته که پس از خرد شدن و پردازش مجدد می‌توان از آن‌ها بهره برد. دسته سوم، برخلاف دودسته پیشین، می‌توان به‌صورت مستقیم و یا با پردازش اندک، دوباره مورداستفاده قرار گیرند. تانگ کاموسک و همکاران [۱۸] در سال ۲۰۱۷ به بررسی ضایعات تولیدشده در ساختمان‌های بلندمرتبه در تایلند پرداختند. نتایج این پژوهش ده ضایعات برتر که در ساخت‌وسازهای بلندمرتبه یافت می‌شود را مشخص کرد که عبارت‌اند از: بتن، کاشی، سقف، فولاد، چوب، بسته مواد و مصالح، آلومینیوم، پلاستیک، شیشه و شن. از بین این موارد، بیشترین درصد متعلق به بتن، فولاد، چوب و شن است که سبب آلودگی هوا، آب و خاک می‌شوند.

ضایعات ساختمانی در مراحل طراحی، اجرا (ناشی از کنترل ضعیف مصالح در سایت پروژه) و تغییرات اعمال‌شده و تخریب ایجاد می‌گردند[۴]. در کاهش ضایعات ساخت‌وساز، دو اصل حاکم است: اول کاهش مقدار ضایعات تولیدشده و دوم اتخاذ روشی مؤثر برای مدیریت آن‌ها. بیگوم و سیوار [۱۹] در سال ۲۰۰۶ به بررسی مزایای اقتصادی به حداقل رساندن ضایعات ساختمانی در مطالعه موردی مالزی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تا ۷۳ درصد از زباله‌های تولیدشده در روش‌های صنعتی سازی ساختمان در محل تولید بازمصرف شده و به چرخه ساخت بازمی‌گردند. همچنین بر اساس نتایج این

[۱] Inert
[۲] Non-inert

تحقیق منافع حاصل از کاهش تولید ضایعات ساختمانی در روش‌های صنعتی سازی ساختمان نسبت به روش‌های سنتی، در حدود ۲/۵ درصد بودجه‌ی پروژه خواهد بود. از دیگر رویکردهای مؤثر به کار گرفته‌شده در کشورهای درحال‌توسعه و توسعه‌یافته برای کاهش نرخ تولید ضایعات ساختمانی می‌توان به افزایش هزینه موردنیاز برای دفن آن‌ها اشاره نمود[۲۰]. لوا و یوان [۲۱] در سال ۲۰۱۰ به بررسی عوامل مهم موفقیت در مدیریت ضایعات در پروژه های ساختمانی چین پرداختند. نتایج ارائه‌شده در این تحقیق ۷ عامل را به‌عنوان عوامل مهم موفقیت در مدیریت ضایعات مشخص نمود که عبارت‌اند از: ۱) قوانین مربوطه، ۲) سیستم مدیریت ضایعات، ۳) افزایش اطلاعات در حوزه ضایعات، ۴) بهره‌گیری از فناوری‌های نوین در ساخت‌وساز، ۵) کاهش تغییرات در طراحی، ۶) تحقیق و توسعه ضایعات و ۷) آموزش مدیریت ضایعات. یوان و شن [۲۲] در سال ۲۰۱۵ به بررسی موانع اصلی در بهبود عملکرد مدیریت ضایعات در چین پرداختند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، این موانع را می‌توان در پنج مؤلفه اساسی گروه‌بندی کرد که عبارت‌اند از: ۱) آگاهی ضعیف و آموزش ناکافی، مؤلفه، ۲) حمایت ناکافی مقامات، ۳) ملاحظات اقتصادی، ۴) بازار نابالغ و ۵) موانع مربوط به فعالیت سایت. به‌صورت جزئی‌تر این موانع عبارت‌اند از: ۱) عدم پشتیبانی مقررات کافی، ۲) دشواری اجرای مقررات موجود، ۳) اجرای ضعیف در مدیریت ضایعات ساختمانی و تخریب، ۴) اعمال هزینه اضافی ناشی از مدیریت ضایعات ساخت‌وساز و تخریب، ۵) عدم وجود روش‌های مؤثر مدیریت ضایعات ساختمانی و تخریب، ۶) فرهنگ و رفتار ساخت‌وساز سنتی، ۷) فقدان انگیزه‌های اقتصادی برای مدیریت ضایعات در ساخت‌وساز در پیمانکاران، ۸) عدم تمایل به مدیریت ضایعات ساختمانی و تخریب به دلیل رقابت شدید، ۹) آموزش ناکافی افراد مرتبط، ۱۰) هزینه پایین موردنیاز برای دفع ضایعات، ۱۱) در نظر نگرفتن کاهش ضایعات در مرحله طراحی، ۱۲) فقدان بازار بازیافت ضایعات، ۱۳) آگاهی ضعیف اپراتورها در مورد کاهش ضایعات ساخت‌وساز و تخریب، ۱۴) ضایعات زیاد مصالح در سایت‌های ساختمانی، ۱۵) عدم امکان مدیریت مناسب ضایعات ساختمانی و تخریب به دلیل فضای محدود سایت‌ها و ۱۶) آگاهی ضعیف مشتریان در مورد مدیریت ضایعات ساخت‌وساز و تخریب؛ که موارد آگاهی ضعیف و آموزش ناکافی، در نظر نگرفتن کاهش ضایعات در مرحله طراحی و فقدان بازار بازیافت ضایعات از اصلی‌ترین این موانع شناسایی شدند.

مدیریت ضایعات شامل کاهش ضایعات، استفاده مجدد از ضایعات تولیدی، بازیافت و یا دفع آن‌ها می‌شود. پیشگیری و کاهش ضایعات سودمندترین، اقتصادی‌ترین و پایدارترین رویکرد در سلسله‌مراتب مدیریت ضایعات است. این راهکارها و ترتیب اهمیتشان در شکل ۱ مشخص‌شده است[۶]. حدود یک‌سوم از ضایعات ساختمانی تولیدشده، مربوط به تصمیمات اتخاذشده در مراحل اولیه طراحی است. برای کاهش ضایعات در این مرحله می‌توان از نکاتی مانند در نظر گرفتن استفاده مجدد و بازیافت مصالح، طراحی برای ساخت‌وسازهای خارج از سایت و بهره‌گیری از مصالح بادوام بهره برد[۵].



شکل ۱: سلسله مراتب مدیریت ضایعات [۶]

- **ارزیابی ضایعات ساختمانی با بهره‌گیری از BIM**

مدل‌سازی اطلاعات ساختمان فناوری است که می‌تواند تمامی اطلاعات موردنیاز در طول چرخه عمر یک ساختمان، از طراحی تا تخریب را تولید و مدیریت کند. هارون و همکاران [۲۳] در سال ۲۰۱۶ به بررسی مزایا و موانع اجرا BIM در صنعت ساخت‌وساز عراق پرداختند. در این راستا، به بیان مزایا BIM نیز اشاره کردند که برخی از آن‌ها عبارت‌اند از: ۱) توانایی آموزش

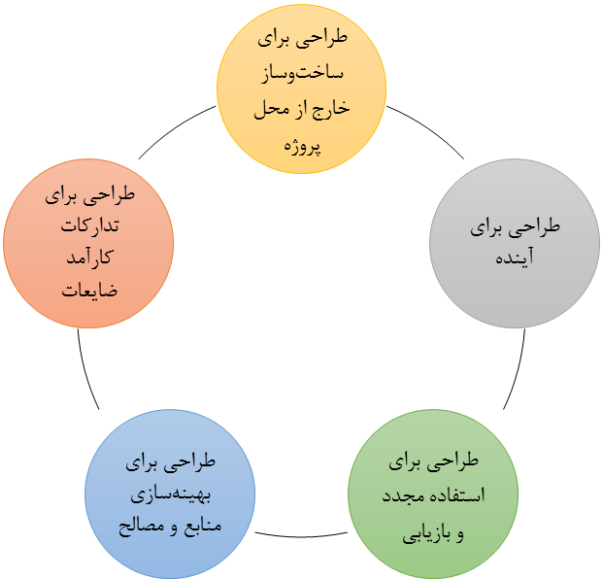
BIM به افراد، ۲) به حداقل رساندن هزینه‌های پروژه، ۳) به حداقل رساندن زمان موردنیاز برای تکمیل پروژه، ۴) موفق در پروژه‌های تحقیقاتی، ۵) کاهش خطرات امنیتی در مرحله طراحی، ۶) قابلیت پیش‌بینی زمان پروژه، ۷) بهبود تجسم، ۸) بهبود همکاری بخش‌های مختلف، ۹) بهبود ارتباطات، ۱۰) به حداکثر رساندن بهره‌وری، ۱۱) کاهش امکان از دست رفتن اطلاعات و ۱۲) مدیریت و ادغام بهتر اسناد. چنگ و همکاران [۲۴] در سال ۲۰۱۳ ساخت یک سیستم مبتنی بر BIM برای برآورد و برنامه‌ریزی ضایعات را موردبررسی قراردادند. این سیستم می‌تواند در شناسایی فرآیندهای تولید ضایعات کمک کرده و راهکارهایی برای کنترل ضایعات ارائه نماید. با استفاده از این سیستم می‌توان برآوردهای خودکار، سریع و دقیقی از ضایعات داشت؛ بدین‌صورت که BIM این امکان را فراهم می‌کند تا اطلاعات چند رشته‌ای در یک مدل ساختمان دیجیتال قرار گیرند. سپس به کمک این سیستم می‌توان، اطلاعات مربوط به مواد و حجم را از طریق مدل BIM استخراج کرد و این اطلاعات را به هدف برآورد دقیق و برنامه‌ریزی ضایعات یکپارچه کرد. همچنین برای برآورد دقیق‌تر، می‌توان فاکتورهای تعیین‌کننده حجم ضایعات را به سیستم اضافه نمود.

برای مدیریت مؤثر ضایعات نیاز است تا تخمین نوع و حجم آن‌ها از مرحله طراحی ساختمان آغاز گردد. چندین روش برای اندازه‌گیری ضایعات وجود دارد که می‌توان آن‌ها را به دودسته مستقیم و غیرمستقیم تقسیم کرد. روش‌های مستقیم به علت نیازمند بودن به اندازه‌گیری واقعی محدودیت‌هایی دارند. روش‌های غیرمستقیم با مطالعات موردی که بر روی ساختمان‌های خاص و انواع ضایعات متمرکزشده است، سنجیده می‌شوند؛ اما به دلیل عدم تطابق بر یک استاندارد مشخص، قابل‌اعمال بر تمامی پروژه‌ها برای تخمین میزان و نوع ضایعات تولیدشده نمی‌باشند. همچنین سیستم دیگری برای ارزیابی و تخمین میزان ضایعات ساختمانی طراحی‌شده است که می‌تواند هزینه‌ها و شیوه‌های مناسب بازیافت و دفع ضایعات را با در نظر گرفتن اثرات محیط زیستی آن‌ها برآورد کند، اما ضایعات را بر اساس حجم واقعی‌شان اندازه‌گیری می‌کند و قادر به محاسبه حجم ظاهری‌شان نمی‌باشد[۲۵]. عمده بررسی‌ها و مطالعات پیشین صورت گرفته در زمینه تأثیرات BIM بر ضایعات، مراحل مختلف پروژه‌ها را به‌صورت مجزا مورد هدف قرار می‌دهند. به این معنا که تمرکز برخی از محققان بر استفاده از BIM به‌عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری برای مدیریت ضایعات در مرحله طراحی می‌باشد[۲۶]. برخی دیگر از محققان مرحله ساخت‌وساز را مورد ارزیابی قرار داده تا از اتلاف از طریق افزایش عملکرد نیروی ساخت‌وساز، کاهش دوباره‌کاری، برنامه‌ریزی استفاده مناسب و کارآمد از سایت و پیش‌ساخته سازی جلوگیری نمایند. فازهای عملیات و پایان عمر ساختمان نیز توسط برخی دیگر از محققان مورد ارزیابی قرارگرفته است. نتایج مطالعات و بررسی‌ها نشان می‌دهد که بسیاری از تحقیقات موجود در زمینه تأثیر BIM بر ضایعات ساختمانی، بر فاز طراحی و ساخت متمرکزشده و مراحل پس از ساخت کمتر موردتوجه قرارگرفته است[۲۷].

- **تأثیر BIM بر ضایعات ساختمانی**

وون و همکاران [۱۳] در سال ۲۰۱۷ به بررسی منافع حاصل از استفاده BIM در مدیریت و کاهش ضایعات در مراحل طراحی، برنامه‌ریزی، ساخت‌وساز و تخریب پروژه‌های عمرانی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد، با استفاده از BIM مدیران حوزه مدیریت ضایعات می‌توانند مقدار ضایعات تولیدشده را برآورد کنند و مکان‌ها و اندازه‌های فضاهای ماشین‌آلات و تجهیزات مرتبط با ضایعات را مدیریت نمایند. به‌طورکلی این مقاله نشان داد که ضایعات را می‌توان از طریق بررسی طرح‌ها، تشخیص سریع، برنامه‌ریزی مناسب و دقیق برای مراحل مختلف ساخت، استفاده شدن در محل، کنترل و طراحی سه‌بعدی و طراحی سیستم ساخت‌وساز کاهش داد. در عمده پروژه‌های ساختمانی به حداقل رساندن ضایعات ساختمانی، نسبت به اهداف سنتی پروژه یعنی زمان، هزینه و کیفیت در درجه دوم اهمیت قرار دارد. بااین‌حال، هرچه ضایعات ساختمانی، زودتر شناسایی و اندازه‌گیری شوند، اقدامات کمینه‌سازی اتخاذشده موفقیت‌آمیزتر بوده و مدیریت آن‌ها کارآمدتر خواهد بود[۲۸]. BIM به‌عنوان یک ابزار بهینه‌سازی طراحی برای کاهش ضایعات تولیدشده در طول ساخت‌وساز عمل می‌کند. علاوه بر این از BIM می‌توان در مواردی مانند تخمین میزان تولید ضایعات، توسعه برنامه‌های مدیریت ضایعات، انتخاب کارآمدترین مکان‌های دفع ضایعات،

ترکیب اطلاعات در مورد کل چرخه عمر ساخت‌وساز، به حداقل رساندن اثرات فرآیندهای بیهوده در طول چرخه پروژه و سازمان‌دهی ورود مصالح و نیروی کار و تجهیزات به پروژه استفاده کرد[۲۷].WRAP (برنامه اقدام زباله و منابع)، در انگلستان، پنج اصل کلیدی که گروه‌های طراحی می‌توانند برای کاهش ضایعات ساختمانی از آن بهره‌مند گردند را مشخص کرده است که در ادامه در شکل ۲ قابل‌مشاهده می‌باشند. درنتیجه تحقیقات صورت گرفته، مشخص‌شده است که تصمیمات اتخاذشده در هر دو مرحله طراحی و ساخت می‌تواند بر به حداقل رساندن ضایعات ساختمانی تأثیرگذار باشند[۲۹].



شکل ۲: اصول طراحی ضایعات [۲۹]

واسودوان [۳۰] در سال ۲۰۲۰ به بررسی مزایای اجرای فن‌آوری‌ها و ابزارهای BIM در مدیریت ضایعات قابل‌توجه ساختمانی در صنعت ساخت‌وساز مالزی، به‌عنوان یک کشور درحال‌توسعه، پرداخت. مالزی به‌عنوان یک راه‌حل مؤثر در کاهش ضایعات، در تلاش است تا ابزارها و فن‌آوری‌های BIM را به‌عنوان یک راهکار، در تمام شیوه‌ها و مراحل ساخت اعمال کند. این امر را می‌توان با محدودیت‌هایی که ناشی از درک و پذیرش افراد برای یادگیری و انطباق با BIM، عدم تمایل در جایگزینی روش‌های مرسوم، عدم درک مزایای بی‌شماری که چنین عملی می‌تواند برای صنعت ساخت‌وساز به همراه داشته باشد، مرتبط دانست. بنا بر نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش مهم‌ترین مزایا BIM عبارت‌اند از: ۱) برنامه‌ریزی و زمان‌بندی مؤثر فعالیت‌ها، ۲) همگام‌سازی طراحی، سایت و مصالح و ۳) تشخیص خطاها و مغایرت‌ها. همچنین در این پژوهش پیشنهادشده است تا شرکت‌هایی که BIM را در اختیاردارند، با ارائه خدمات مناسب و ارتقا اطلاعات مربوط به آن، اعتماد فعالان صنعت ساختمان را جلب کنند تا بتوان به میزان استقبال جامعه مهندسی و فعالان صنعت ساخت، از BIM در جهت کاهش ضایعات ساختمانی افزود.

- **تأثیرات محیط زیستی ضایعات ساختمانی پروژه‌های مجهز به BIM**

ضایعات ساختمانی یکی از جدی‌ترین نگرانی‌های محیط‌زیستی است. امروزه، شیوه‌های ساخت‌وساز با آسیب‌های احتمالی به محیط‌زیست به‌طور غیرقابل‌کنترلی برای پاسخگویی به نیازهای جمعیتی رو به رشد انجام می‌شود. تولید ضایعات دیدگاه‌های محیط‌زیستی متفاوتی دارد: اولاً مصرف مصالح ساختمانی را افزایش می‌دهد، علاوه بر این، اگر این مواد به‌درستی مدیریت نشوند، ممکن است سبب آلودگی آب و خاک گردند. ورود ضایعات ساختمانی به طبیعت مانند جنگل‌ها و نهرها، سبب

[۱] Waste & Resources Action Program

فرسایش، آلودگی و تغییر در سطح آب‌های سطحی، کاهش منابع، افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و مصرف انرژی شده و همچنین با توجه به محدودیت ظرفیت‌های محل‌های دفن ضایعات، نگرانی‌های محیط‌زیستی را افزایش می‌دهد[۴]. طبق پژوهش صورت گرفته توسط پوروال [۳۱] در سال ۲۰۱۳، بازیافت ازنظر مصرف غیرمستقیم منابع، آسیب محیط‌زیستی و هزینه بیشتری ایجاد می‌کند. بنابراین، بهترین راه، جلوگیری از تولید ضایعات با اتخاذ تکنیک‌های مدرن طراحی و مدیریت ساخت‌وساز است. نتایج نشان می‌دهد که مقدار زیادی از ضایعات ایجادشده در فرآیند ساخت‌وساز به دلیل عدم هماهنگی طراحی و عدم مشارکت گروه سازنده در فرآیند طراحی است؛ که این امر منجر به خطا در ساخت و درنتیجه ایجاد تغییرات ساختمانی پرهزینه می‌شود. وانگ و همکاران [۲۰] در سال ۲۰۱۹ به بررسی اثرات محیط‌زیستی چرخه زندگی و تمایل جامعه برای بهینه‌سازی هزینه مدیریت ضایعات ساخت‌وساز پرداختند. بسیاری از مطالعات نشان داده است که هزینه مدیریت ضایعات یک رویکرد مؤثر است که می‌تواند تولید ضایعات را به حداقل برساند و میزان انحراف محل دفن آن‌ها را به حداکثر برساند. در این مطالعه، مالیات اثرات محیط‌زیستی (مانند عوارض آلودگی و مالیات منابع)، به‌عنوان مبنای ارزیابی انتخاب‌شده بود و بر اساس یافته‌ها، مجموعه پیشنهادهایی برای بخش مدیریت ضایعات ساخت‌وساز در چین ارائه گردید. تعیین این هزینه از طریق رویکردهای سیستماتیک از دیدگاه‌های مختلف صورت گرفته است و در طول زمان و مناطق متفاوت خواهد بود، زیرا هرگونه تغییر عوامل در مدل‌های محاسبه منجر به تغییر درنتیجه نهایی می‌گردد.

یکی دیگر از راهکارهای مناسب برای برخورد با ضایعات، بازیافت آن‌ها است. بازیافت ضایعات سبب صرفه‌جویی در زمین‌های دفن ضایعات، جلوگیری از آلودگی محیطی محل‌های دفن ضایعات و کاهش بهره‌برداری از منابع کمیاب می‌شود. به‌عنوان‌مثال، فلزات خام و مواد فولادی تقویت‌شده منابع طبیعی ارزشمندی می‌باشند که بازیافت آن‌ها منجر به حفظ منابع طبیعی و کاهش مصرف انرژی می‌شود و درنتیجه به‌طور قابل‌توجهی به حفاظت از محیط‌زیست کمک می‌کند[۱۷]. چشم‌انداز گسترده چرخه عمر پروژه، امکان بررسی مزایای محیط‌زیستی ایجادشده از طریق فرآیندهای مختلف مدیریت ضایعات را فراهم می‌آورد. به‌عنوان‌مثال، سوزاندن ضایعات و تولید انرژی از آن، نیاز به سایر منابع انرژی را کاهش می‌دهد. از طرفی می‌توان مواد حاصل از فرآیندهای بازیافت را جایگزین مواد اولیه نمود و همچنین تصفیه بیولوژیکی، معمولاً نیاز به تولید کودهای مصنوعی را کاهش می‌دهد[۳۲]. طبق مطالعات صورت گرفته توسط جلائی و همکاران [۳] در سال ۲۰۲۱، BIM در طول عمر ساختمان طیف گسترده‌ای از اثرات را بر آلاینده‌های رایج در جو دارد؛ ازجمله می‌تواند ۳۵ درصد از تولید ازن، ۴۲/۵ درصد از جرم کلروفلوئوروکربن[۱] ۲۷ درصد از گاز نیتروژن را کاهش دهد. همچنین BIM مهم‌ترین نقش را در کاهش کربن دی‌اکسید، که به‌عنوان یک معیار در استانداردهای گرمایش جهانی در نظر گرفته می‌شود، ایفا کرده و سبب کاهش ۶۲/۶ درصدی این گاز، که تقریباً بیش از نیمی از آن است، می‌گردد.

۳-۳- عوامل مؤثر در بهره‌گیری از BIM در بررسی ضایعات

میچاد و همکاران [۳۳] در سال ۲۰۲۱ منابع تولید ضایعاتی را که ناشی از نیروی انسانی، فرآیندهای پروژه و تکنولوژی می‌باشد، در ۸ دسته تقسیم‌بندی نمودند که عبارت‌اند از: (۱) عدم اعتماد افراد، (۲) مقاومت در برابر تغییر مهندسین و نیرو پروژه، (۳) عدم دانش و مهارت کافی نیروی انسانی، (۴) نوع پروژه و قرارداد، (۵) عدم ارتباط و هماهنگی بین بخش‌های مختلف، (۶) عدم کنترل کیفیت فرآیند، (۷) عدم استانداردسازی و (۸) محدودیت ابزار. این بررسی همچنین نشان می‌دهد که تمامی منابع ضایعات به یکدیگر مرتبط بوده و باید به‌طورکلی با آن‌ها مقابله کرد.

برآورد دقیق ضایعات تولیدشده در ساخت‌وسازهای عمرانی برای به حداقل رساندن آن‌ها در پروژه حیاتی است. BIM سبب بهبود فرآیندها در مراحل برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت‌وساز و تخریب‌شده و درنتیجه ضایعات ناشی از ساخت‌وساز را به‌طور مؤثر مدیریت کرده و سبب کاهش آن‌ها می‌شود[۳۴]. BIM با استفاده از قابلیت مدل‌سازی پارامتریک در مرحله طراحی و ایجاد سیستم کنترل یکپارچه تغییرات، منجر می‌گردد که تغییر در یک بخش مدل، در سایر بخش‌های پروژه مورد ملاحظه

[۱] CFC

قرارگرفته و باعث کاهش احتمال وقوع تغییر در فاز اجرا شود. BIM می‌تواند مواد و مصالح ساخت را با طراحی‌ها تطابق داده و دوام آن را ارزیابی کرده و تضادها را تجزیه‌وتحلیل نماید. تمامی این موارد منجر به کاهش ضایعات ساختمانی می‌گردد[۳۵]. ازاین‌رو، ازجمله کاربردهای BIM در برابر منابع تولید ضایعات ذکرشده عبارت است از: (۱) برنامه‌ریزی فاز[۱](یا شبیه‌سازی ۴ بعدی)، (۲) برداشت کمی[۲] (۳) بررسی طراحی[۳] (۴) هماهنگی سه‌بعدی[۴] (۵) برنامه‌ریزی استفاده از سایت[۵] (۶) کنترل و برنامه‌ریزی سه‌بعدی[۶] (۷) ساخت دیجیتال[۷] و (۸) طراحی سیستم ساخت‌وساز[۸] که هر یک به‌صورت مختصر در ادامه شرح داده‌شده است.

۱- برنامه‌ریزی فاز، فرآیندی است برای تسهیل برنامه‌ریزی مؤثر در هر مرحله و نشان دادن توالی ساخت‌وساز و فضای موردنیاز در یک سایت ساخت‌وساز با یکپارچه‌سازی مدل BIM و برنامه زمان‌بندی پروژه.

۲- برداشت کمی، فرآیندی است که می‌تواند به‌سرعت فهرستی از اطلاعات کمی مصالح و عناصر ساختمانی را از مدل BIM تولید کرده و اثرات اضافات را با در نظر گرفتن صرفه‌جویی در زمان، هزینه و مصالح اندازه‌گیری کند.

۳- بررسی طراحی، فرآیندی است برای نمایش طرح به ذینفعان، تعیین معیارهای ذینفعان و درنتیجه بهینه‌سازی طرح.

۴- هماهنگی سه‌بعدی، فرآیندی است که امکان برخورد را با مقایسه مدل‌های سه‌بعدی سیستم‌های ساختمان تشخیص داده و این امکان را فراهم می‌آورد که تضادهای موجود قبل از نصب برطرف گردند.

۵- برنامه‌ریزی استفاده از سایت، فرآیندی است برای نمایش گرافیکی تأسیسات، برنامه فعالیت‌های ساخت‌وساز، منابع نیروی انسانی، مصالح.

۶- کنترل و برنامه‌ریزی سه‌بعدی، فرآیندی است برای چیدمان مجموعه‌های تسهیلات و کنترل خودکار مکان و حرکت تجهیزات.

۷- ساخت دیجیتال، استفاده از فناوری و تکنولوژی برای پیش‌ساخته کردن اشیاء مستقیماً از یک مدل سه‌بعدی را قادر می‌سازد که درنتیجه، این امر سبب بهبود بهره‌وری می‌گردد.

۸- طراحی سیستم ساخت‌وساز، فرآیندی است که ساخت یک سیستم ساختمانی پیچیده را تجزیه‌وتحلیل می‌کند تا بهره‌وری ساخت‌وساز و آگاهی ایمنی را افزایش دهد.

با بهره‌گیری از قابلیت‌های ذکرشده BIM، می‌توان میزان ضایعات ساختمانی تولیدشده را تخمین زد و با توجه به اندازه فضاها و حجم مصالح ساختمانی شیوه‌های مناسب مدیریت ضایعات را برنامه‌ریزی کرد. همچنین با محاسبه هزینه مدیریت ضایعات ساختمانی، به بهینه‌سازی طراحی پروژه‌ها، به حداقل رساندن ضایعات ساختمانی و بازیافت آن‌ها کمک کرد[۳۶]. BIM به علت ارائه فرآیندها و روش‌های نوین طراحی و ساخت تأثیر به سزایی در مرحله طراحی دارا می‌باشد؛ زیرا ایجاد یک مدل ساختمانی دقیق از پروژه، سبب افزایش دقت ارزیابی آن گردیده و نیز کیفیت و عملکرد آن را افزایش داده و درنهایت منجر به کاهش میزان ضایعات تولیدشده در این مرحله در پروژه می‌گردد[۳۷]. همچنین بهره‌گیری از BIM، بهره‌وری پروژه را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد، زیرا سبب افزایش مشارکت و ارتباط افراد می‌گردد، که خود منجر به بروز تغییرات در نتایج پروژه می‌گردد[۳۸].

---

[۱] Phase planning (or 4D simulation)
[۲] Quantity take-off
[۳] Design review
[۴] 3D coordination (or clash detection)
[۵] Site utilization planning
[۶] 3D control and planning
[۷] Digital fabrication
[۸] Construction system design (virtual mock-up)

۳-۴- موانع اجرا BIM در پروژه‌ها برای بررسی ضایعات ساختمانی

شناسایی موانع اصلی اجرای مدیریت ضایعات ساختمانی و تخریب و همچنین بهره‌گیری از BIM در پروژه بسیار ضروری است؛ زیرا نه‌تنها تصمیم‌گیرندگان اصلی را قادر می‌سازد تا این موانع را درک کنند، بلکه به‌عنوان مبنایی برای کاوش استراتژی‌هایی برای ارتقای عملکرد در مدیریت پروژه‌ها و ضایعات عمل می‌کند. علیرغم مزایای متعدد استفاده از BIM، از موانع اجرا آن می‌توان به عدم قابلیت همکاری و انتقال اطلاعات بالا که یکی از بزرگ‌ترین موانع بهره‌گیری از BIM است و عدم تمایل پذیرش آن توسط افراد که به علت رضایت آن‌ها از محیط‌های کاری و شیوه‌های فعلی است، اشاره نمود[۳۹]. به‌عنوان‌مثال، اگر در یک پروژه مهندس معمار از نرم‌افزار Revit استفاده کند، درحالی‌که دیگران از نرم‌افزار ArchiCAD استفاده کنند، مشکلات ناسازگاری زیادی ایجاد می‌گردد. تغییرات سفارش‌ها[۱]یکی از معمول‌ترین فرآیندها در تمام پروژه‌های ساختمانی می‌باشد و این تغییرات، خود ممکن است سبب ایجاد سلسله‌ای از تغییرات دیگر را به دنبال داشته باشند. تغییرات طراحی یکی از انواع تغییرات ایجادشده در پروژه‌ها بوده که سبب ایجاد سطوح غیرقابل‌قبول ضایعات ساخت‌وساز و همچنین تأخیر در برنامه زمان‌بندی پروژه می‌شود. بااین‌حال، BIM به‌تنهایی، قادر به تخمین و پیش‌بینی این تغییرات نمی‌باشد[۴۰].

بر اساس مطالعات پیشین، موانع اجرای BIM را می‌توان در پانزده دسته که عبارت‌اند از: هزینه‌ها، متخصصان، قوانین، قابلیت تبادل اطلاعات، آگاهی، فرهنگ، فرآیندها، مدیریت، تقاضا، مقیاس پروژه، فناوری، مهارت‌ها، آموزش، قرارداد و استاندارد طبقه‌بندی کرد[۴۱]. عامل هزینه، به‌عنوان محدودیت اصلی در پیاده‌سازی BIM شناخته‌شده است؛ که این هزینه‌ها شامل هزینه‌هایی مانند خرید BIM، به‌روزرسانی آن و همچنین هزینه آموزش کارکنان برای استفاده از آن است. قانون، به‌عنوان دومین مانع در پیاده‌سازی BIM است؛ زیرا هیچ قانون مشخصی برای استفاده از BIM در پروژه‌ها وجود ندارد. تقاضا نیز به‌عنوان عامل سوم در پیاده‌سازی BIM می‌باشد. عدم اطمینان در مورد مزایای BIM، به‌ویژه در مرحله برنامه‌ریزی، باعث شده است که تقاضا برای استفاده از BIM پایین باشد[۴۲]. صنعت ساختمان ایران ازنظر آگاهی و پذیرش BIM در پروژه‌های ساختمانی، به‌طور قابل‌توجهی از سایر کشورهای خاورمیانه عقب‌تر است. از مهم‌ترین موانع اجرا BIM در پروژه‌ها می‌توان به عدم وجود عواملی چون فرهنگ، استاندارد، آموزش، تقاضا و آگاهی اشاره نمود[۴۳].

۳-۵- خلأهای موجود

تکامل مداوم صنعت ساخت‌وساز و پروژه‌های ساختمانی جدید، می‌توانند داده‌های بالقوه جدیدی را تولید کنند؛ زیرا معمولاً پروژه‌های ساختمانی متفاوت بوده و می‌توانند موارد منحصربه‌فرد و مسائل جدیدی را ایجاد نمایند[۳۳]. یکی از مشکلات مهم در صنعت ساخت‌وساز، عدم انطباق تکنولوژیکی در این صنعت می‌باشد. این صنعت در زمینه پذیرش فناوری‌های نوین از سایر صنایع، بسیار عقب مانده است. عدم اجرای فناوری‌های مدرن، منجر به نارضایتی کارگران و سایر افراد شده که بر این اساس به ناکارآمدی پروژه‌ها ازنظر ارتباطات و انتقال اطلاعات منجر می‌گردد[۴۴].

در حال حاضر، شیوه‌های مدیریت ضایعات بر مراحل پس از ایجاد ضایعات تمرکز دارند. به عبارتی، این شیوه‌ها فاقد استراتژی‌های پیشگیرانه کاهش ضایعات که می‌تواند عملکرد پایدار و سودآوری شرکت‌ها را بهبود بخشد، می‌باشند[۵]. در سال‌های اخیر، رویکرد متعارف در راستا مدیریت ضایعات این بوده است که سیستم‌های تولید، جمع‌آوری و دفع ضایعات به‌عنوان فرآیندهایی مستقل برنامه‌ریزی شوند. درصورتی‌که، تمامی این فرآیندها به یکدیگر مرتبط بوده و بر دیگری تأثیرگذار است. ازاین‌رو، در نظر گرفتن کاهش ضایعات ساخت‌وساز به‌صورت مستقل نمی‌تواند به‌درستی تأثیر کارایی یک استراتژی را بر سایر عناصر در کاهش ضایعات ساخت‌وساز بیان کند. که این امر نیازمندی این بررسی‌ها را به رویکردی پیچیده‌تر، یعنی رویکردهای سیستماتیک، مانند رویکرد سیستم‌های پویا نشان می‌دهد[۴۵].

همان‌طور که پیش‌تر ذکر گردید، تحقیقات متعددی در زمینه تأثیرات BIM بر ضایعات ساختمانی انجام‌شده است؛ اما در زمینه خلأهای اصلی موجود در این تحقیقات می‌توان به مواردی ازجمله عدم توجه به ماهیت پویا در استفاده از BIM برای

[۱] Change Order

ضایعات ساختمانی که منجر به نادیده گرفتن پتانسیل‌های موجود در مراحل مختلف چرخه عمر یک ساختمان می‌شود، فقدان ابزار مناسب برای تصمیم‌گیری در مورد ابعاد مختلف BIM، نیاز به ارزیابی کمی در کاهش هزینه‌ها با بهره‌گیری ازBIM و عدم بررسی دقیق تغییرات سفارش‌ها اشاره نمود.

۴- نتیجه‌گیری

این مقاله با بررسی سیستماتیک پژوهش‌های پیشین در دو دهه گذشته به شناسایی تأثیر BIM بر کاهش ضایعات ساختمانی ناشی از ساخت ساختمان‌های بلندمرتبه می‌پردازد. همچنین با بهره‌گیری از یک تحلیل کیفی مباحث اصلی در این حوزه، بررسی و جمع‌بندی شده است. از طرفی موانع و خلأهای موجود در این حوزه ارزیابی و رهنمودهایی برای پژوهش‌های آتی پیشنهاد گردید. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که ضایعات ساختمانی درصد قابل‌توجهی از بودجه‌های پروژه را شامل می‌شوند. ازاین‌رو نیاز است تا حد امکان این درصد به کمترین مقدار خود برسد. یکی از راهکارهای کاهش ضایعات ساختمانی، استفاده از پیش‌ساخته سازی بوده که به کمک آن می‌توان از هدر رفت زمان و مصالح به مقدار زیادی جلوگیری به عمل آورد. همچنین چندین عامل ازجمله قوانین حاکم بر پروژه‌ها، سیستم مدیریت پروژه‌ها، اطلاعات مربوط به حوزه ضایعات، بهره‌گیری از فناوری‌های نوین و از همه مهم‌تر، کاهش تغییرات و دوباره‌کاری در پروژه‌ها به‌عنوان عوامل مهم موفقیت در مدیریت ضایعات مشخص‌شده است. ازجمله قوانین حاکم بر پروژه‌ها و کشورها، می‌توان به اعمال هزینه‌های سنگین بر دفع و دفن ضایعات اشاره نمود؛ که البته به علت عدم آگاهی مناسب ذینفعان و کشورها در این زمینه، اعمال این هزینه‌ها تاکنون نتوانسته تأثیر به سزایی در کاهش ضایعات و مدیریت آن‌ها داشته باشد. در ادامه پژوهش‌ها، می‌توان به تأثیر BIM در مدیریت ضایعات و کاهش آن‌ها اشاره نمود. با طراحی دقیق پروژه‌ها به کمک BIM می‌توان ضایعات قطعات ساختمانی را به حداقل رساند که این عامل تأثیر به سزایی در هزینه‌های پروژه، ضایعات تولیدی و آلودگی‌های محیط زیستی دارد. همچنین به کمک BIM می‌توان در طول مراحل طراحی پروژه تمامی عوامل ایجادکننده ضایعات را شناسایی کرد و آن‌ها را برطرف نمود. به‌طورکلی، مطالعات پیشین نشان می‌دهد که تحقیقات ضایعات ساختمانی در میان حوزه‌های تحقیقاتی BIM اولویت نداشته و مطالعات صورت گرفته عمدتاً بر ارزیابی کلی محیط‌زیست ساختمان متمرکز است. در مطالعات صورت گرفته در این حوزه نیز، بهره‌گیری از رویکرد سیستم‌های پویا به میزان نسبتاً کمی مورداستفاده قرارگرفته است. کمی سازی ضایعات ساختمانی به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فرد هر پروژه، فعالیتی پیچیده تلقی می‌گردد. ازاین‌رو، در فرآیند ساخت‌وساز باید به‌عنوان ترکیبی از عوامل درک شوند. مهم اینکه، تأثیر BIM بر ضایعات ساختمانی ساختمان‌های بلندمرتبه که عمده ضایعات را در بخش ساخت‌وساز به خود اختصاص می‌دهند، تاکنون موردمطالعه و تحقیق پژوهشگران واقع نشده است. این موارد می‌توانند در پژوهش‌های آتی مورد تحلیل و بررسی قرار گیرند.

مراجع

[۱] فرخزاد، م.، فرخزاد، پ.، حسن‌زاده، م.، اعتصامیان، پ. تحلیلی بر مزایا و معایب بلندمرتبه‌سازی، سومین کنگره بین‌المللی افق‌های جدید معماری و شهرسازی، تهران، ۱۳۹۵.

[۲] کریمی دستگردی، م.، ملازاده، ن.، حمصیان اتفاق، م. شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر مدیریت ضایعات ساختمانی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره، کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و مدیریت توسعه شهری در ایران، تهران، ۱۳۹۷.

[3] Jalaei F, Zoghi M, and Khoshand A. Life cycle environmental impact assessment to manage and optimize construction waste using Building Information Modeling (BIM), International Journal of Construction Management, vol. 21, no. 8, pp. 784-801, 2021.

[4] Esin T, Cosgun N, A study conducted to reduce construction waste generation in Turkey, Building and Environment, vol. 42, no. 4, pp. 1667-1674, 2007.

[5] Bilal M et al., Design optimisation using convex programming: Towards waste-efficient building designs, Journal of Building Engineering, vol. 23, pp. 231-240, 2019.

[6] Teo M, Loosemore M, A theory of waste behaviour in the construction industry, Construction management and economics, vol. 19, no. 7, pp. 741-751, 2001.

[7] Poon C-S, Yu A, and Jaillon L, Reducing building waste at construction sites in Hong Kong, Construction Management and Economics, vol. 22, no. 5, pp. 461-470, 2004.

[8] Jaillon L, Poon C-S, and Chiang Y. H, Quantifying the waste reduction potential of using prefabrication in building construction in Hong Kong, Waste management, vol. 29, no. 1, pp. 309-320, 2009.

[9] San Santoso D, Ogunlana S.O, and Minato T, Assessment of risks in high rise building construction in Jakarta, Engineering, Construction and Architectural Management, 2003.

[10] Ajayi S.O and Oyedele L.O, Waste-efficient materials procurement for construction projects: A structural equation modelling of critical success factors, Waste management, vol. 75, pp. 60-69, 2018.

[11] Hannan M, Al Mamun M.A, Hussain A, Basri H, and Begum R.A, A review on technologies and their usage in solid waste monitoring and management systems: Issues and challenges, Waste Management, vol. 43, pp.509-523, 2015.

[12] Miettinen R, Paavola S, Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling, Automation in construction, vol. 43, pp. 84-91, 2014.

[13] Won J, Cheng J.C, Identifying potential opportunities of building information modeling for construction and demolition waste management and minimization, Automation in Construction, vol. 79, pp. 3-18, 2017.

[14] Yang S, Application of BIM during lean construction of high-rise buildings, Stavební obzor-Civil Engineering Journal, vol. 28, no. 3, pp. 331-343, 2019.

[15] Li C.Z et al., Research trend of the application of information technologies in construction and demolition waste management, Journal of Cleaner Production, vol. 263, p. 121458, 2020.

[16] Kern A.P, Dias M.F, Kulakowski M.P, and Gomes L.P, Waste generated in high-rise buildings construction: A quantification model based on statistical multiple regression, Waste Management, vol. 39, pp.35-44,2015.

[17] Shi Y, Xu J, BIM-based information system for econo-enviro-friendly end-of-life disposal of construction and demolition waste, Automation in Construction, vol. 125, p. 103611, 2021.

[18] Thongkamsuk P, Sudasna K, and Tondee T, Waste generated in high-rise buildings construction: A current situation in Thailand, Energy Procedia, vol. 138, pp. 411-416, 2017.

[19] Begum R.A, Siwar C, Pereira J.J , and Jaafar A.H, A benefit–cost analysis on the economic feasibility of construction waste minimisation: the case of Malaysia, Resources, conservation and recycling, vol. 48, no.1, pp. 86-98, 2006.

[20] Wang J, Wu H, Tam V.W, and Zuo J, Considering life-cycle environmental impacts and society's willingness for optimizing construction and demolition waste management fee: An empirical study of China, Journal of cleaner production, vol. 206, pp. 1004-1014, 2019.

[21] Lu W, Yuan H, Exploring critical success factors for waste management in construction projects of China, Resources, conservation and recycling, vol. 55, no. 2, pp. 201-208, 2010.

[22] Yuan H, Shen L, and Wang J, Major obstacles to improving the performance of waste management in China's construction industry, Facilities, 2011.

[23] Hamada H, Haron A, Zakiria Z, and Humada A, Benefits and barriers of BIM adoption in the Iraqi construction firms, International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering, vol. 3, no. 8, pp.76-84, 2016.

[24] Cheng J.C, Ma L.Y, A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning, Waste management, vol. 33, no. 6, pp. 1539-1551, 2013.

[25] Kim Y.C, Hong W.H, Park J.W, and Cha J.W, An estimation framework for building information modeling (BIM)-based demolition waste by type, Waste Management & Research, vol. 35,no.12, pp.1285-1295,2017.

[26] Lu W, Webster C, Chen K, Zhang X, and Chen X, Computational Building Information Modelling for construction waste management: Moving from rhetoric to reality, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 68, pp. 587-595, 2017.

[27] Nikmehr B, Hosseini M.R, Wang J, Chileshe N, and Rameezdeen R, BIM-Based Tools for Managing Construction and Demolition Waste (CDW): A Scoping Review, Sustainability, vol.13, no.15, p.8427, 2021.

[28] Quiñones R, Llatas C, Montes M.V, and Cortés I, A Multiplatform BIM-Integrated Construction Waste Quantification Model during Design Phase. The Case of the Structural System in a Spanish Building, Recycling, vol. 6, no. 3, p. 62, 2021.

[29] Liu H, Al-Hussein M, and Lu M, BIM-based integrated approach for detailed construction scheduling under resource constraints, Automation in Construction, vol. 53, pp. 29-43, 2015.

[30] Vasudevan G, The benefits of implementation of BIM technologies and tools in significantly construction wastes in the Malaysia construction industry, in IOP conference series: materials science and engineering,2020, vol. 849, no. 1: IOP Publishing, p. 01, 2019.

[31] Porwal A, Construction waste management at source: a Building Information Modeling based system dynamic approach, University of British Columbia, 2013.

[32] Birgisdottir H, Life cycle assessment of MSWI residues: recycling in road construction and landfilling, in Integrated Waste Management & Life Cycle Assessment Workshop and Conference, 2004.

[33] Michaud M, Meyer J, Forgues D, and Ouellet-Plamondon C, A taxonomy of sources of waste in BIM information flows, Buildings, vol. 11, no. 7, p. 291, 2021.

[34] Miara R.D, Scheer S, Optimization of construction waste management through an integrated BIM API, Iberoamerican Journal of Industrial Engineering, vol. 11, no. 22, pp. 110-122, 2019.

[35] MGH. Construction, The business value of BIM for infrastructure: Addressing America's infrastructure challenges with collaboration and technology, Smart Market Report, vol. 12, 2012.

[36] Anumba C et al., The BIM Project Execution Planning Guide and Templates-Version 2.0, CIC Research Group, Department of Architectural Engineering, The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA, 2010.

[37] Becerik-Gerber B, Rice S, The perceived value of building information modeling in the US building industry, Journal of Information Technology in Construction (ITcon), vol. 15, no. 15, pp. 185-201, 2010.

[38] Muhwezi L, Chamuriho L, and Lema N, An investigation into materials wastes on building construction projects in Kampala-Uganda, Scholarly Journal of Engineering Research, vol. 1, no. 1, pp. 11-18, 2012.

[39] Latiffi A.A, Brahim J, and Fathi M.S, Transformation of Malaysian construction industry with building information modelling (BIM), in MATEC Web of Conferences, vol. 66: EDP Sciences, p. 00022, 2016.

[40] Lee S, Peña-Mora F, and Park M, Dynamic quality and change management framework for concurrent design and construction, in ASCE Construction Research Congress, pp. 19-21, 2003.

[41] Siddiqui F, Akhund M, Ali H, Khahro S.H, Khoso A.R, and Imad H.U, Barriers in adoption of building information modeling in Pakistan's construction industry, Indian J. Sci. Technol, vol. 12, pp. 1-7, 2019.

[42] Sriyolja Z, Harwin N, and Yahya K, Barriers to Implement Building Information Modeling (BIM) in Construction Industry: A Critical Review, in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol.738, no. 1: IOP Publishing, p. 01, 2021.

[43] Hosseini M.R, Azari E, Tivendale L, and Chileshe N, Barriers to adoption of building information modeling (BIM) in Iran: Preliminary results, in The 6th International Conference on Engineering, Project, and Production Management (EPPM2015), Gold Coast, Australia, 2015.

[44] Hewage K.N, Ruwanpura J.Y, and Jergeas G.F, IT usage in Alberta's building construction projects: Current status and challenges, Automation in construction, vol. 17, no. 8, pp. 940-947, 2008.

[45] Seadon J.K, Sustainable waste management systems, Journal of cleaner production, vol. 18, no. 16-17, pp.1639-1651, 2010.